

УДК 655.245

## ОБРОБКА ГЛИБОКИХ ОТВОРИВ: РІЗУЧІЙ ІНСТРУМЕНТ, ЗАГАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ТА ТЕНДЕНЦІЇ ЇХ ВИРІШЕННЯ

© Маршуба В. П., Яценко Л.О.

### Інформація про авторів:

**Маршуба В'ячеслав Павлович:** ORCID: 0000-0003-1426-6240; [Marshuba\\_vp@mail.ru](mailto:Marshuba_vp@mail.ru); кандидат технічних наук; доцент кафедри інформаційних комп'ютерних і поліграфічних технологій; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

**Яценко Ларіса Олександрівна:** ORCID: 0000-0002-6158-6207; [Yatsenko-larisa@mail.ru](mailto:Yatsenko-larisa@mail.ru); старший викладач кафедри інформаційних комп'ютерних і поліграфічних технологій; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

**Маршуба В.П., Яценко Л.А.** «Обработка глубоких отверстий: режущий инструмент, общие проблемы и тенденции их решения».

Целью данной работы было определение основных направлений исследований конструкций режущих инструментов применяемых для обработки глубоких отверстий и определение их основных достоинств и недостатков в процессе эксплуатации. Поиск решений по устранению проблем связанных с нестабильностью процесса резания и совершенствование конструкций инструмента для их преодоления.

Проведенный анализ отечественных и зарубежных литературных источников по рассматриваемой теме показал, что современный подход к определению влияния конструкций режущих инструментов основан на определении событий макро уровня и совсем не учитывает действие физико-химических явлений на микро уровне. Это связано с несовершенством инструментальных методов контроля и субъективностью подходов с одной стороны, тогда как с другой отсутствием направлений общего подхода к решению данной задачи.

В результате проведенных исследований и анализа литературных источников было установлено, что существующие методы исследований в некоторых аспектах дублируют друг друга. Выходом из ситуации является создание новой методики исследований с учетом действия сопутствующих явлений на микро уровне.

**Ключевые слова:** глубокие отверстия, режущий инструмент, исследования, методы решений.

**Маршуба В.П., Яценко Л.А.** «Обработка глубоких отверстий: режущий инструмент, общие проблемы и тенденции их решения».

Метою даної роботи було визначення основних напрямків досліджень конструкцій ріжучих інструментів, що застосовуються для обробки глибоких отворів і визначення їх основних переваг та недоліків в процесі експлуатації. Пошук рішень щодо усунення проблем пов'язаних з нестабільністю процесу різання і вдосконалення конструкцій інструменту для їх подолання.

Проведений аналіз вітчизняних і зарубіжних літературних джерел з даної теми показав, що сучасний підхід до визначення впливу конструкцій ріжучих інструментів заснований на визначенні подій макро рівня, зовсім не враховує дію фізико-хімічних явищ на мікро рівні. Це пов'язано з недосконалістю інструментальних методів контролю і суб'єктивністю підходів з одного боку, тоді як з іншого відсутністю напрямків загального підходу до вирішення даного завдання.

В результаті проведених досліджень і аналізу літературних джерел було встановлено, що існуючі методи досліджень в деяких аспектах дублюють один одного. Виходом із ситуації є створення нової методики досліджень з урахуванням дії супутніх явищ на мікро рівні.

**Ключові слова:** глибокі отвори, ріжучий інструмент, дослідження, методи рішень.

**Marshuba V.P., Yatsenko L.A.** " Treatment of deep holes: cutting tools, common problems and tendencies of their solutions."

The aim of this study was to determine the main directions of research designs for cutting tools used for machining deep holes and determination of their main advantages and disadvantages in operation. The search for solutions to address the problems associated with instability of cutting process and improving the design of an in-

strument for combating.

An analysis of domestic and foreign literature on the subject has shown that the modern approach to determining the effect of designs of cutting tools based on the definition of events of the macro level and not takes into account the influence of physico-chemical phenomena on the micro level. This is due to the imperfection of the instrumental methods of control and subjective approaches on the one hand, while on the other the lack of a General approach to solving this problem.

As a result of the conducted research and analysis of literary sources it was found that existing methods of research in some aspects overlap. The way out is the creation of a new method of research with regard to actions related phenomena on the micro level.

**Keywords:** deep holes, cutting tools, research, methods of making.

## **1. Постановка проблеми в загальному вигляді**

За існуючими стандартами в промисловості, отримання каналів глибоких отворів є збірним поняттям, тобто це такий вид отримання отворів, який застосовується для обробки різанням з головним круговим рухом інструменту, причому рух подачі інструменту здійснюється уздовж осі його обертання, яка зберігає своє положення щодо інструмента і заготовки. Тобто цим вимогам відповідають наступні види обробки поверхонь - свердління або розсвердлювання.

Згідно з цим визначенням до інших видів отримання глибоких отворів також відносять другі види, які вживають для цього, наприклад: для формоутворення поверхонь, серед яких: зенкерування, чорнове розточування і попереднє розгортання; для поліпшення якості поверхні, зокрема: чистове і комбіноване розточування, чистове розгортання, хонінгування, розкочування та полірування; для підвищення розмірної точності вже отриманих отворів: розгортання, чистове розточування, хонінгування, розкочування.

Розглянуті вище види обробки застосовують при виконанні глибоких отворів в різноманітних матеріалах в широкому діапазоні їх діаметрів та глибин. Але ж при цій обробці існує цілий ряд проблем з ріжучим інструментом,

що притаманні тільки обробці глибоких отворів. Такі проблеми пов'язані з фізичною та хімічною сутністю природи взаємодії між собою різних тіл та середовищ в умовах тривалої дії підвищених температур при високих питомих тисках, та відрізняються від других видів обробки, тощо.

## **2. Аналіз досліджень і публікацій за темою статті**

В наступний час існують декілька напрямків досліджень виконаних різними авторами, які спрямовані на вирішення проблем інструменту, що притаманні обробці глибоких отворів. Розглянемо лише деякі напрямки досліджень пов'язаних з ріжучим інструментом, що застосовують при обробці глибоких отворів, так як в умовах однієї статті не можливо об'єднати всі різноманітні дослідження та вказати їх переваги і недоліки:

1. Створення різноманітних конструкцій інструментів [1, 2], які використовуються в залежності від технологічних вимог, що пред'являються при обробці різних глибоких отворів, як в широкому діапазоні діаметрів та глибин, так і в залежності від якості та точності поверхонь, що оброблені.

2. Дослідження впливу геометричних параметрів та конструктивних елементів інструментів при обробці глибоких отворів в різних матеріалах пов'язано зі невисокою стійкістю інструментів до вигину, коливанням та іншим факторам з-за їх великих довжин, малих діаметрів та його міцності, що впливають на процес різання, тому в цьому процесі суттєво знижені значення подач, а процес різання характеризується зрізанням тонких шарів матеріалу, що обробляється.

3. Застосування різних схем різання при зрізуванні поверхневого шару матеріалу, що обробляється [3], для подальшого дроблення стружки і полегшеного видалення фрагментів стружки з зони різання та обробки, що реалізується в різноманітних конструкціях ріжучих інструментів.

4. Застосування тонких зносостійких покриттів для інструменту з метою зниження сили тертя в зоні різання та обробки і підвищення зносостійкості [4].

5. Доведення контактних поверхонь інструменту до більш якісної, в порівнянні зі звичайною заточкою, що також дає спроможність підвисити ресурс ек-

платуації ріжучого інструменту та понижає собівартість обробки отворів [5].

Виходячи з наступних підходів до розв'язання проблем ріжучого інструменту, що пов'язані з обробкою глибоких отворів, розглянемо більш детально всі напрямки досліджень.

### **3. Виклад основного матеріалу**

При літературному дослідженні напрямків експериментів по підвищенню ефективності різноманітної обробки глибоких отворів різних діаметрів, що виконані різними авторами, в широкому діапазоні їх діаметрів та глибин, необхідно визначити переваги та недоліки основних напрямків:

1. Технологічні операції отримання отворів є найбільш трудомісткими. Технологія обробки глибоких отворів залежно від пропонованих до них технічних умов вимагає використання спеціального інструменту для кожного виду обробки. Тому вони засновані на процесах свердління, розточування, зенкерування, розгортання і розкочування. Як правило, обробка отворів в різних матеріалах ведеться інструментом на спеціальному обладнанні, обов'язково забезпеченим високо напірними насосними системами подачі ЗОТС з великими витратами. Тому існує необхідність впровадження у виробництво багатофункціональних свердел, головок, розкаток та ін. Конструкцій інструментів, виконаних з використанням нових рішень, дозволяє домагатися більш високих техніко-економічних показників. Підвищення ефективності виробництв, отримання виробів світового рівня якості і вище неможливо без впровадження нових конструкцій інструменту і способів їх реалізації.

2. Виконані в даний час вітчизняні та зарубіжні роботи з дослідження процесу обробки глибоких отворів в різних матеріалах в більшості своїй вирішують тільки приватні задачі технологічного характеру і не розкривають суті взаємного впливу один на одного фізичних явищ, що протікають в процесі зрізу і транспортування стружки із зони різання. Особливо це характерно для зарубіжних джерел, які з міркувань збереження комерційної таємниці призводять лише уривчасті дані по впливу геометричних параметрів і конструктивних елементів.

нтів ріжучого інструменту на силу різання та момент, що крутить.

Як відомо геометричні параметри ( $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\varphi$ ,  $\omega$ , та  $\beta$  - кути інструменту) та конструктивні елементи (форма профілю поперечного перетину, форма профілю стружкових канавок, товщина перемички та інше) інструменту повністю визначає вид його робочої частини. Тому вони робить прямий вплив на зростання осьової складової сили різання ( $P_z$ ) і моменту, що крутить ( $M_{кр}$ ) при різанні, умови утворення стружки і її відведення із зони різання, стійкість, жорсткість і міцність інструменту. Крім того, виходячи з конструкції інструменту для обробки глибоких отворів, до його профілю висувають ще такі вимоги: з одного боку площа поперечного перерізу інструменту повинна забезпечувати достатню міцність і жорсткість при його навантаженні за рахунок зусиль різання, з іншого боку площа поперечного перерізу стружкових канавок повинна бути достатньою для ефективного видалення стружки. Пошук і вибір компромісного рішення, щодо задовольняє цим суперечливим вимогам, є основою сучасного підходу до конструювання інструменту для обробки глибоких отворів. Тому останнім часом з'явилися нові розробки інструментів, у яких форма профілю поперечного перерізу відрізняється від форми профілю існуючих стандартних і універсальних інструментів. Вплив форми профілю в поперечному перерізі інструменту (щодо його осі) на осьову складову  $P_z$  незначно, і приймається в розрахунок тільки для інструментів діаметром менше 3,5 мм. Форма профілю інструменту більшою мірою впливає на крутний момент і відповідно крутильну жорсткість інструменту, бо від цього залежить не тільки точність обробки отворів, але і шорсткість обробленої поверхні, стійкість інструменту, а також визначається вибір допустимих режимів різання.

Аналіз даних проведених досліджень по закономірностям впливу форми профілю інструменту в поперечному перетині, за даним різних робіт показав, що його вплив визначає правильний баланс величин площі поперечного перерізу і площі стружкових канавок. Збільшення товщини серцевини інструменту, в діапазоні  $0,1 < C < 0,3d$ , зумовлює великий приріст статичної крутильної жорсткості інструменту, ніж аналогічне збільшення серцевини в діапазоні понад  $0,3d$ .

Але, незважаючи на дані різних робіт, за впливом форми профілю інструменту в поперечному (щодо його осі) перетині, вони не враховують повною мірою цей вплив на  $P_Z$  та  $M_{кр}$  в залежності від глибини отвору, що обробляється, а також залежність видалення стружки із зони різання і зони обробки від форми профілю поперечного перерізу інструменту.

3. Огляд технічної літератури показав, що багато фірм-розробники інструменту для обробки глибоких отворів останнім часом приступили до розробки нових конструкцій, як для багато прохідного, так і для однопрохідного, застосовуючи при цьому різні схеми різання (розподілу) поверхневого шару матеріалу, що обробляється. Однак аналіз використання інструменту для обробки глибоких отворів показує, що нові конструкції інструменту все ще не знайшли достатньо широкого застосування в наступний час. Головною причиною цього є відсутність простих науково-обґрунтованих рекомендацій на умові їх застосування (виходячи з умов комерційної таємниці) та недостатнього вивчення процесу дроблення стружки шляхом її розподілу на окремі потоки.

Виконані в даний час роботи по дослідженню процесу обробки глибоких отворів в більшості своїй вирішують окремі приватні завдання технологічного характеру і не розкривають суті впливу та взаємодії фізичних явищ, що протікають в процесі різання. Тому необхідно визначити вплив новітніх конструкцій, наприкладі впливу геометричних параметрів та конструктивних елементів ріжучої частини на  $P_Z$  та  $M_{кр}$  в умовах розподілу одного потоку стружки на лезі інструмента на окремі потоки. Так як від величини цього значення залежать ефективність процесів зрізу і утворення стружки. Ці роботи практично не виконувались із-за великою собівартістю досліджень та досить великою кількістю факторів, що впливають на даний процес.

4. У світовій практиці металообробки все більше застосування знаходять інструменти з покриттями. Тонкі «плівкові» покриття, товщиною від 2 до 10 мкм, наносять на поверхню заточеного і доведеного інструменту з різних матеріалів, які дозволяють поліпшити ряд службових характеристик інструменту і значно змінити умови його роботи. Зниження дії сил і температур різання на 20...40%, дозво-

ляє підвищити стійкість різального інструмента в 2 і вище раз, або збільшити швидкість різання від 20 до 60% і значно поліпшити шорсткість обробки.

До зносостійкому покриття для інструменту пред'являється ряд вимог: висока мікротвердість, що в 1,5...2 рази перевищує, твердість матеріалу інструменту; висока зносостійкість; низка схильність до адгезії з матеріалом, що обробляється; збереження основних властивостей, при високих температурах; мінімальна здатність до дифузійного розчинення в матеріалі, що обробляється; висока міцність зчеплення з інструментальним матеріалом.

Ряд вимог носить суперечливий характер, наприклад низьку адгезію до матеріалу, що обробляється і високу міцність зчеплення з матеріалом інструменту. При різанні сталей, в основі яких міститься залізо, інструментом зі швидкорізальної сталі, доцільніше всього наносити багатошарові або композиційні покриття. У багатошарових покриттів нижній шар, прилеглий до інструментальному матеріалу, забезпечує міцне зчеплення з ним, а верхній - мінімальне схоплювання з оброблюваним матеріалом. Проміжні шари можуть виконувати роль сполучних шарів, шарів з тепловими бар'єрами або шарів, що перешкоджають просуванню тріщин при руйнуванні покриттів.

Композиційні покриття - це покриття, які змінюють свій склад і властивості по товщині: наприклад для швидкорізального інструменту складу покриття може поступово переходити від нітриду цирконію ( $ZrN$ ), що забезпечує найкраще зчеплення з інструментальною підкладкою, до нітриду ніобію ( $NbN$ ), що дає аномально низький схоплювання з залізовмісних оброблюваними матеріалами.

В якості матеріалів для покриттів використовують карбіди, нітриди карбонітриди, боріди і силіциди тугоплавких металів IV...VI груп періодичної системи елементів (IV - титан, цирконій, гафній; V - ванадій, ніобій, тантал; VI - хром, молібден, вольфрам). Застосовується також оксид алюмінію  $Al_2O_3$  і алмазоподібні покриття на основі вуглецю.

Найбільшого поширення для нанесення зносостійких покриттів на різальний інструмент отримали методи хімічного (газофазного) осадження покриттів (ХОП) або методи CVD (Chemical Vapour Deposition), термодифузійне наси-



чення поверхні (ТДН) і фізичне осадження покриттів у вакуумі (ФОП) або PVD (Physical Vapour Deposition).

Тобто застосування зносостійких покриттів на інструменті позитивно впливає на підвищення стійкості та доцільно застосовувати при глибокій обробці отворів.

5. Однією з технологічних операцій, спрямованих на стабільне підвищення стійкості ріжучих інструментів з швидкорізальних сталей при обробці глибоких отворів, є алмазне доведення і чистова заточка [13]. Ця технологічна операція підвищує, стійкість різучого інструменту зі швидкорізальної сталі в 1,5...3 рази, в порівнянні з аналогічними заточуванням абразивними інструментами з моно корунду на бакелітовій зв'язці, залежно від виду і способу заточування різального інструменту, марки оброблюваного матеріалу, умов зрізу і транспортування стружки із зони різання.

Раніше для доведення багатолезового ріжучого інструменту виготовленого зі швидкорізальної сталі для обробки глибоких отворів, використовували абразивні інструменти з моно корунду на бакелітовій зв'язці і шліфувальні порошки з моно корунду і електрокорунду. Що викликало ймовірність появи пропалин при шліфуванні інструментальних сталей абразивними кругами з електрокорунду або моно корунду зернистістю 25...40; чистота обробленої поверхні при цьому була не вище 6...7-го класу.

З розвитком виробництва синтетичних алмазів для цієї мети стали застосовувати алмазні кола на органічній, металевій та керамічній зв'язці, алмазні шліфувальні порошки. Крім того алмазне доведення і заточка знижує кількість залишкового аустеніту в поверхневому шарі ріжучого інструменту, що впливає на підвищення стійкості інструменту. Алмазне доведення і заточка підвищує чистоту передньої і задньої поверхні ріжучого інструменту в межах 9...10-го класу чистоти, знижують шорсткість поверхні і зменшує биття зубів, що особливо важливо для багатолезового різального інструменту.

В даний час, велика частина виробленого ріжучого інструменту для обробки глибоких отворів, піддається доведенню і чистовій заточці алмазними абразивними кругами на органічній, металевих і керамічній зв'язках різних ма-

рок. Застосування абразивних кругів і шліфувальних порошоків з синтетичного алмазу в інструментальній промисловості забезпечило також освоєння і випуск таких прогресивних багатолезових швидкорізальних інструментів для глибокої обробки отворів, як дрібно розмірного інструменту (свердла, розгортки, мітчики та ін. діаметром 1...5 мм), що виготовляється методом шліфування стружкових канавок і т.д., при високій чистоті передньої і задньої поверхонь інструменту.

## **Висновки**

Виходячи з перерахованого вище можливо зробити наступні висновки:

1. З-за великої кількості змінних факторів дослідження процесу різання інструментом необхідно проводити досить велику кількість опитів, але ж це дає тільки середнє статичний результат, що впливає на доцільність випробувань. Тому необхідно створити нові напрямки досліджень інструменту, які будуть менш затратні як по часу, так и по собівартості.

2. В наслідок перерахованих вище недоліків досліджень процесу різання різними інструментами не існує весь комплекс досліджень процесу різання в цілому, а особливо складової їх частини, а саме обробки глибоких отворів, тому необхідно перенести частину досліджень процесу різання з макрорівня до мікроміру, що здасть можливість поєднати різні напрямки досліджень та виведе їх на новий рівень.

3. Основні напрямки розробки нових конструкції інструментів при обробці глибоких отворів особливо притаманні закордонним фахівцям без урахування фізики різання, що пов'язано в першу чергу лише з вдосконаленням їх геометричних параметрів та конструктивних елементів, в другу використанням нових матеріалів для виготовлення інструменту. Але ж такий підхід не забезпечує вирішення всіх проблем обробки глибоких отворів. Тому необхідно використовувати дослідження фізики процесу різання на макрорівні, що приведе до появи більш в досконалих конструкцій інструментів.

### Список використаних джерел:

1. Лакирев С.Г. Обработка отверстий. / С.Г. Лакирев; – М.: Машиностроение, 1984. – 206 с.
2. Маршуба В.П. Использование схемы – классификации применяемости инструмента при обработке глубоких отверстий. // И.Б. Плахотникова; / Вестник науки и техники. НТУ «ХПИ», ООО «ХДНТ». – Х.: ООО «ХДНТ», 2003. №2-3 (13-14). – С. 11-14.
3. Звонцов И.Ф. Технологии сверления глубоких отверстий. / П.П. Серебrenицкий, А.Г. Схиртладзе; - СПб.: Из-во «Лань», 2013. – 496 с.
4. Маршуба В.П., Повышение стойкости режущего инструмента из быстрорежущей стали для обработки глубоких отверстий путем заточки и доводки алмазным инструментом. // В.И. Дрожжин; / Резание и инструмент в технологических системах. Междунар. научн.-техн. сб. – Х.: НТУ «ХПИ», 2003. Вып. №64, - С. 145-152.
5. Попов С.А. Заточка режущего инструмента. / С.А. Попов; – М.; Книга по требованию, 2012. -318 с.

### References:

1. Lakyрэv S. M.: 1984, Obrobka otvoriv. *Mashynobuduvannia*, S 206.
2. Marshuba V. & Plakhotnykova I. Kh.: 2003, “Vykorystannia skhemy - klasyfikatsii vzhivanosti instrumentu pry obrobtsi hlybokykh otvoriv, *Visnyk nauky i tekhniky. NTU «KhPI», TOV «KhDNT»*, no. 2-3 (13-14). - S. 11-14.
3. Zvontsov I., Serebrenitskii P. & Skhyrtladze A., SPb.: 2013, *Tekhnolohii sverdlinnia hlybokykh otvoriv. Vyd-vo «Lan»*, S 496.
4. Marshuba V. & Drozhzhyn V., Kh.: 2003, “Pidvyshchennia stiikosti rizalnoho instrumentu zi shvydkorizalnoi stali dlia obrobky hlybokykh otvoriv shliakhom zatochuvannia i dovedenniaalmaznym instrumentom”, *Rizannia i instrument v tekhnolohichnykh systemakh. Mizhnar. nauk.-tekhn. zb.* - NTU "KhPI", no. 64, - S. 145-152.
5. Popov S. M.; 2012, Zatochennia rizalnykh instrumentiv. *Knyha po trebovanyiu*, S 318.